

长江口深水航道灯浮标位置推算

陈麒龙

(集美大学理学院, 福建 厦门 361021)

[摘要] 为了缩短长江口深水航道灯浮标的复位时间, 需实现灯浮标移位预警。运用乘积季节模型推算长江口深水航道的灯浮标未来24 h的位置, 然后进行移位判定, 并验证移位预警效果。结果表明, 该方法对灯浮标位置地推算较为准确, 误差在可接受范围内, 移位预警效果较好。

[关键词] 灯浮标; 深水航道; 位置推算; 乘积季节模型; 长江口

[中图分类号] U 644.8; O 212.1

Position Prediction of Light Buoy in Yangtze Estuary Deepwater Fairway

CHEN Qilong

(School of Science, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: In order to shorten the reset time of the light buoy in the Yangtze Estuary deep water fairway, it is necessary to have early warning on possible dislocation of the light buoy. For this reason, a method based on multiplicative seasonal model is used to calculate the position of the light buoy in Yangtze Estuary deepwater fairway, and make judgement on dislocation. The result shows that the method can predict the position of light buoy with acceptable accuracy, and the effect of dislocation forewarning is good.

Keywords: light buoy; deepwater fairway; position prediction; multiplicative seasonal model; Yangtze Estuary

0 引言

航标遥测遥控系统通过远程终端单元(remote terminal unit, RTU), 以固定的时间间隔采集卫星定位、电压、电流、温度等数据, 并上传到数据中心; 数据中心依据预设的阈值对数据进行判定, 识别灯浮标是否发生移位报警。发生移位报警的灯浮标必须在规定时限内复位, 如果能够预测未来24 h灯浮标的位置, 实现移位预警, 就能有效缩短灯浮标复位时间。文献[1]分析了风和潮汐对灯浮标移位地影响; 文献[2]提出了波浪对浮体作用力的计算公式; 文献[3-4]提出了求解流体(波浪和水流)与浮体相互作用力的算法。以上方法受限于风、潮汐、波浪、水流等因素的影响, 实时数据难以获取, 虽然理论可行, 但是实用性不足。现有的移动对象位置预测模型有: 马尔科夫模型、高斯混合模型、神经网络等, 通常运用于车、船、人的位置预测^[5-10]。灯浮标的移位过程是一个周期性渐变过程, 乘积季节模型适合对具有趋势和周期效应的时序数据进行预测, 因此, 本文利用该模型对长江口深水航道灯浮标位置进行预测。

[收稿日期] 2019-02-12

[基金项目] 国家自然科学基金项目(41501490); 福建省本科高校教育教改项目(JZ160302)

[作者简介] 陈麒龙(1988—), 男, 助理实验师, 从事数据建模与应用统计研究。

1 乘积季节模型原理

如果等时距的时序数据 $\{x_t\}$ 是非平稳的, 且同时存在趋势效应和季节效应 (周期为 S)。如果 S 步 D 阶差分可消除季节效应, d 阶差分可消除趋势效应, 且差分后的序列 $\nabla^d \nabla_S^D x_t$ 平稳, 则可对其非季节部分用 $M_{ARIMA}(p,d,q)$ 模型提取, 对其季节部分用 $M_{ARIMA}(P,D,Q)_S$ 模型提取, 具有乘积关系: $M_{ARIMA}(p,d,q) \times (P,D,Q)_S$, 用后移算子描述为: $\nabla^d \nabla_S^D x_t = \theta(B) \theta_S(B) \omega_t / [\varphi(B) \varphi_S(B)]$ 。其中: d 为趋势差分阶数; D 是季节差分阶数; S 是季节差分步长; $\varphi(B) = 1 - \varphi_1 B - \dots - \varphi_p B^p$; $\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q$; $\varphi_S(B) = 1 - \varphi_1 B^S - \dots - \varphi_p B^{pS}$; $\theta_S(B) = 1 - \theta_1 B^S - \dots - \theta_q B^{qS}$; p 是 $\varphi(B)$ 的相关系数; q 是 $\theta(B)$ 的偏自相关系数; P 是 $\varphi_S(B)$ 的自相关系数; Q 是 $\theta_S(B)$ 的偏自相关系数。差分的阶数 D 和 d 可通过 ADF (augmented dickey-fuller) 检验来确定; 残差序列的纯随机性可以通过 LB (ljung-box) 检验来确定; $\varphi(B)$ 、 $\theta(B)$ 、 $\varphi_S(B)$ 和 $\theta_S(B)$ 的参数采用最小二乘法估计法来估计^[11-12]。

2 建模与应用

2.1 数据预处理

只有等时距的时序数据才能进行建模, 而航标遥测遥控系统的数据往往存在缺失和冗余现象, 需要进行预处理。以长江口深水航道的“35号灯浮标”20181231的数据为例, 航标遥测数据如表1所示。

表1 航标遥测数据预处理

Tab. 1 Navigation mark telemetry data preprocessing

| 序号 Serial number | 接收时间 Receiving time | 经度 Longitude /(°) | 纬度 Latitude /(°) | 移位距离 Distance/m | 真方位角 Azimuth/(°) | 遥测数据状态 Telemetry data status | 报警级别 Alarm level |
|------------------------|------------------------|----------------------|---------------------|--------------------|---------------------|------------------------------------|---------------------|
| 1 | 0:20 | 121.882 545 | 31.267 827 | 28.20 | 248.25 | 正常 Normal | |
| 2 | 1:20 | 121.882 642 | 31.267 830 | 25.76 | 90.69 | 正常 Normal | |
| 3 | 2:20 | 121.882 852 | 31.267 783 | 39.68 | 126.65 | 正常 Normal | |
| 4 | 3:20 | 121.883 013 | 31.267 735 | 56.49 | 137.54 | 正常 Normal | |
| 5 | 4:20 | | | | | 缺失 Missing | |
| 5* | 4:20 | 121.883 107* | 31.267 717* | 65.98* | 142.15* | 正常 Normal* | |
| 6 | 5:20 | 121.883 130 | 31.267 715 | 68.18 | 143.31 | 正常 Normal | 一级 L1 |
| 7 | 6:20 | 121.883 115 | 31.267 712 | 67.11 | 142.16 | 正常 Normal | 一级 L1 |
| 8 | 7:20 | 121.883 058 | 31.267 737 | 60.14 | 140.92 | 正常 Normal | 一级 L1 |
| 9 | 8:20 | 121.882 542 | 31.267 875 | 22.65 | 241.47 | 正常 Normal | |
| 10 | 9:20 | 121.882 198 | 31.267 997 | 49.21 | 184.73 | 正常 Normal | |
| 11 | 10:20 | 121.881 893 | 31.268 048 | 83.04 | 358.15 | 正常 Normal | 二级 L2 |
| 12 | 11:20 | 121.881 878 | 31.268 047 | 84.71 | 358.34 | 正常 Normal | 二级 L2 |
| 13 | 12:20 | 121.881 930 | 31.268 097 | 79.42 | 353.52 | 正常 Normal | 一级 L1 |
| 14 | 13:20 | 121.882 115 | 31.267 935 | 59.56 | 191.71 | 正常 Normal | |
| 15 | 14:20 | | | | | 缺失 Missing | |
| 15* | 14:20 | 121.882 466* | 31.267 826* | 32.59* | 233.87* | 正常 Normal* | |
| 16 | 15:20 | 121.882 823 | 31.267 772 | 39.17 | 121.61 | 正常 Normal | |
| 17 | 16:20 | 121.883 013 | 31.267 718 | 57.98 | 135.96 | 正常 Normal | |
| 18 | 17:06 | 121.883 045 | 31.267 743 | 58.45 | 140.66 | 冗余 Redundancy | |
| 18* | 17:06 | | | | | 已删除 Deleted* | |
| 19 | 17:20 | 121.883 045 | 31.267 743 | 58.45 | 140.66 | 正常 Normal | |
| 20 | 18:20 | 121.883 108 | 31.267 708 | 66.79 | 141.47 | 正常 Normal | 一级 L1 |
| 21 | 19:20 | 121.883 087 | 31.267 747 | 61.85 | 143.70 | 正常 Normal | 一级 L1 |
| 22 | 20:20 | 121.882 992 | 31.267 747 | 53.69 | 137.01 | 正常 Normal | |
| 23 | 21:20 | | | | | 缺失 Missing | |
| 23* | 21:20 | 121.882 187* | 31.267 963* | 51.03* | 189.47* | 正常 Normal* | |
| 24 | 22:20 | 121.882 187 | 31.267 963 | 51.03 | 189.47 | 正常 Normal | |
| 25 | 23:20 | 121.882 208 | 31.267 960 | 48.74 | 190.44 | 正常 Normal | |

注: * 为预处理后的数据。

Note: * After data preprocessing.

远程终端单元标识 (remote terminal unit identification, RTUID) 为 1320。序号 5、15、23 数据缺失, 序号 18 是冗余数据, 先删除冗余数据, 缺失的数据采用“三次样条插值法”补充^[13]。35 号灯浮标的抛设位置 (121. 882 639°E, 31. 268 028°N) 对应的墨卡托投影坐标系中的坐标用 (x_0, y_0) 表示, 将新补充的经纬度数值转化为墨卡托投影坐标系中的坐标 (x_1, y_1) , 计算 (x_0, y_0) 和 (x_1, y_1) 之间的距离 (移位距离), 以及 (x_0, y_0) 和 (x_1, y_1) 连线相对 y 轴的夹角, 并将夹角转化为真方位角, 最终形成时距为 1 h 的等时距数据。

2.2 效应分析

效应分析是为了确定季节周期、趋势和数值水平。移位距离时序数据的效应分析如图 1 所示; 真方位角时序数据的效应分析如图 2 所示。

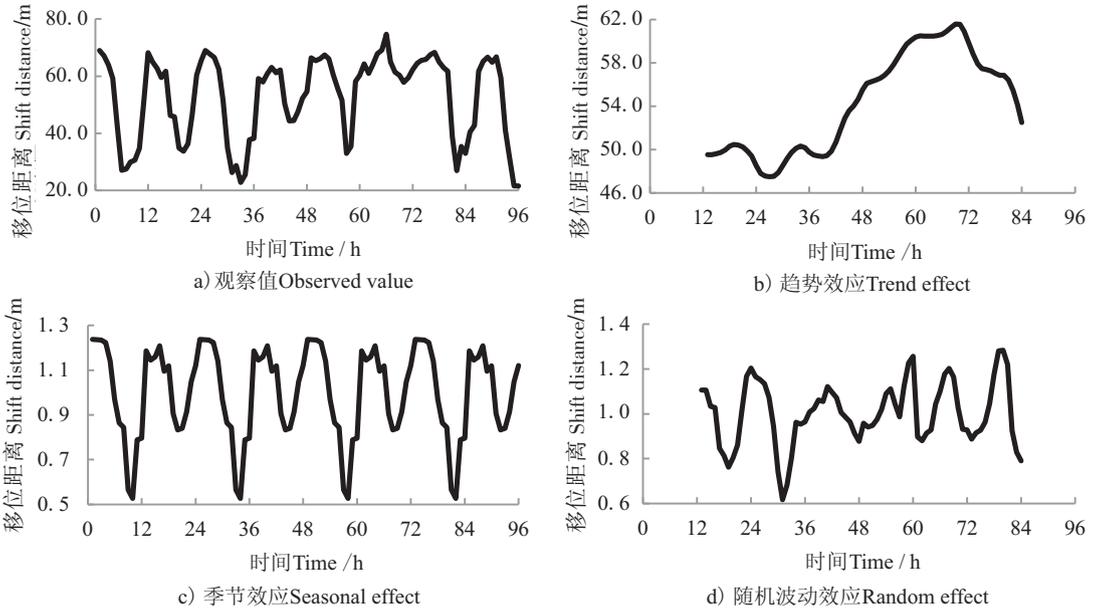


图 1 移位距离时序数据的效应分析图

Fig.1 Effect analysis diagram of distance data

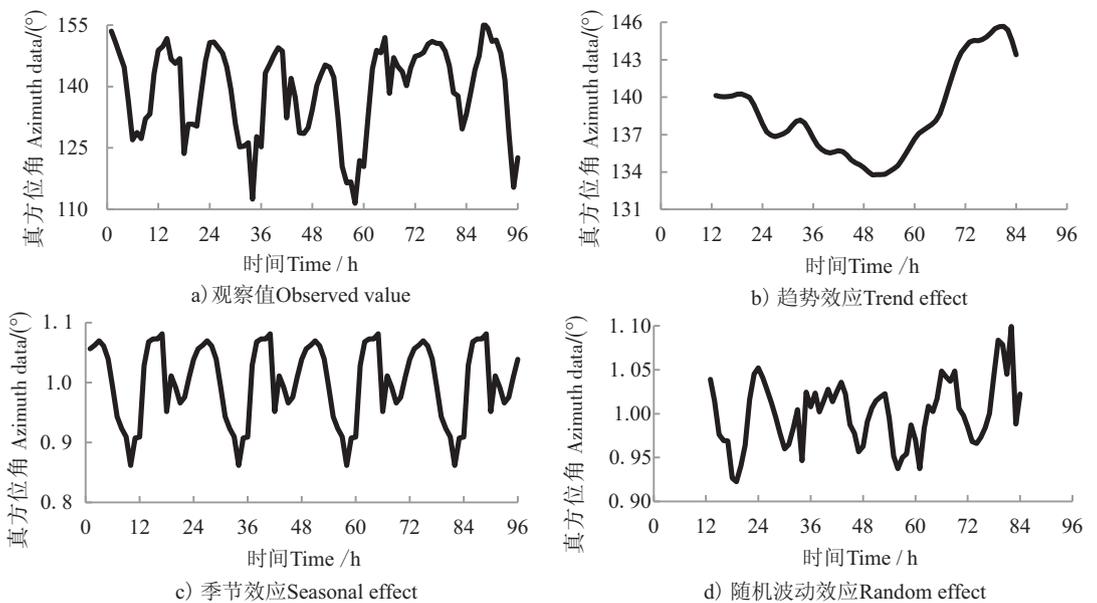


图 2 真方位角时序数据的效应分析图

Fig.2 Effect analysis diagram of azimuth data

将连续 96 h 的移位距离和真方位角的观察值绘制成点线图，如图 1a 和图 2a 所示。发现交替地出现高峰和低谷，不同日期的高峰和低谷出现的时刻是不同的，但是每 24 h 必然出现 2 次高峰和 2 次低谷，因此周期为 24 h。采用模型 $x_t = T_t \times S_t \times R_t$ 。（ x_t 表示 t 时刻的观察值； T_t 表示 t 时刻的趋势值； S_t 表示 t 时刻的季节值； R_t 表示随机波动值。）分解数据的趋势成分、季节成分和随机波动成分，步骤如下：

1) f 为周期 ($f = 24$ h)， l 是时序长度 ($l = 96$)，计算趋势项为

$$T_t = [0.5 x_{t-(f/2)} + x_{t-(f/2)+1} + \dots + x_{t+(f/2)-1} + 0.5 x_{t+(f/2)}] / f, t \in [(f/2) + 1, l - (f/2)];$$

2) $S_t = x_t - T_t$;

3) n 为周期个数 ($n = l/f = 96/24 = 4$)，计算季节项为 $g(t) = (\sum_{i=0}^{n-1} S_{t+ixf}) / f, t \in (1, f)$;

4) 计算中心化季节项为 $G(t) = g(t) - (\sum_{i=1}^f g(t) / f)$;

5) 计算周期性季节项 $S_t = G(t \% f)$ ，其中 $\%$ 为取余运算；

6) 计算随机项为 $R_t = x_t - T_t - S_t$ 。

将 x_t 、 T_t 、 S_t 、 R_t 绘制成点线图进行效应分析。由图 1b ~ 图 1d 可知，移位距离效应呈现出“增长 - 衰减”的趋势效应；季节效应呈现固定周期和数值水平；随机波动无明显规律。由图 2b ~ 图 2d 可知，真方位角呈现出“衰减 - 增长 - 衰减”的趋势效应；季节效应呈现固定周期和数值水平；随机波动无明显规律。

2.3 灯浮标位置推算

灯浮标位置推算的流程是：分别对移位距离时序 $\{D_{\text{distance}t_t}\}$ 和真方位角时序 $\{Az_t\}$ 拟合乘积季节模型，并输出预测值，最后计算灯浮标位置预测值。具体步骤如下。

1) 移位距离和真方位角推算： $\nabla^{d_1} \nabla_{S_1}^{D_1} D_{\text{distance}t_t} = \theta_1(B_1)\theta_{1S_1}(B_1)\omega_{1t} / [\phi_1(B_1)\phi_{1S_1}(B_1)]$ ； $\nabla^{d_2} \nabla_{S_2}^{D_2} Az_t = \theta_2(B_2)\theta_{2S_2}(B_2)\omega_{2t} / [\phi_2(B_2)\phi_{2S_2}(B_2)]$ 。

2) 计算预测位置的墨卡托投影坐标。设 (x_0, y_0) 是抛设位置的墨卡托投影坐标， (x_t, y_t) 是预测位置的墨卡托投影坐标， (x_t, y_t) 的计算公式为：当 $0^\circ < Az_t \leq 90^\circ$ 时， $x_t = x_0 + D_{\text{distance}t_t} \times \sin(Az_t)$ ， $y_t = y_0 + D_{\text{distance}t_t} \times \cos(Az_t)$ ；当 $90^\circ < Az_t \leq 180^\circ$ 时， $x_t = x_0 + D_{\text{distance}t_t} \times \sin(180^\circ - Az_t)$ ， $y_t = y_0 - D_{\text{distance}t_t} \times \cos(180^\circ - Az_t)$ ；当 $180^\circ < Az_t \leq 270^\circ$ 时， $x_t = x_0 - D_{\text{distance}t_t} \times \cos(270^\circ - Az_t)$ ， $y_t = y_0 - D_{\text{distance}t_t} \times \sin(270^\circ - Az_t)$ ；当 $270^\circ < Az_t < 360^\circ$ 时， $x_t = x_0 - D_{\text{distance}t_t} \times \sin(360^\circ - Az_t)$ ， $y_t = y_0 + D_{\text{distance}t_t} \times \cos(360^\circ - Az_t)$ 。

3) 墨卡托投影坐标 (x_t, y_t) 转化为经纬度坐标。设 $(X_{\text{longitude}t}, Y_{\text{latitude}t})$ 是预测位置的经纬度，将 (x_t, y_t) 转化为 $(X_{\text{longitude}t}, Y_{\text{latitude}t})$ 的计算公式为： $X_{\text{longitude}t} = x_t \div 20\ 037\ 508.34 \times 180^\circ$ ， $y_t = y_t \div 20\ 037\ 508.34 \times 180^\circ$ ； $Y_{\text{latitude}t} = 180^\circ \div \pi \times (2 \times \arctan(e^{y_t \times \pi \div 180^\circ}) - \pi \div 2)$ 。

以 35 号灯浮标的数据为例，移位距离建模 $M_{\text{ARIMA}}(2, 1, 0) \times (2, 0, 0)_{24}$ ，真方位角建模 $M_{\text{ARIMA}}(5, 1, 2) \times (2, 0, 1)_{24}$ ，预测误差如表 2 所示。移位距离预测值的平均误差为 10.84 m，标准差为 2.852 m；真方位角预测值的平均误差为 8.68°，标准差为 6.725°。然后计算预测位置的墨卡托坐标，并将其转化为经纬度，如表 3。预测位置与实际位置的偏离距离均值为 17.55 m，标准差为 3.953 m。

2.4 移位预警

移位距离实际分布图如图 3 所示。从图 3 可见预测值比实际值平滑，产生滤波的效果。这是由于乘积季节模型将观察值序列中的随机波动剔除，仅对趋势成分和季节成分进行拟合和预测，而移位报警的判定是针对观察值（实际值）的，所以必须对预测值进行修正，使其数值水平接近实际值。在以预测值为中心的上下 4 倍标准差构成的区间内包含了大部分的实际情况，移位距离的预测值加上 2 倍标准差的修正值，减小了与较高数值水平实际值之间的误差，增大了与较低数值水平实际值之间的误差，但整体上修正值与预测值的误差水平相当。在移位预警中，倾向于发现较高数值水平的移位距

离, 利用修正值可以产生较好的移位预警效果, 如表 4 所示。

表 2 移位距离和真方位角预测值及预测误差

Tab. 3 The predicted value and error of distance and azimuth

| 序号 Serial number | 移位距离 Distance/m | | | 真方位角 Azimuth/(°) | | |
|---------------------|---------------------|------------------------|--------------------------|---------------------|------------------------|--------------------------|
| | 实际值 Actual value | 预测值 Predicted value | 预测误差 Prediction error | 实际值 Actual value | 预测值 Predicted value | 预测误差 Prediction error |
| 1 | 66.48 | 55.28 | 11.20 | 140.29 | 141.67 | 1.38 |
| 2 | 65.46 | 55.14 | 10.32 | 142.96 | 144.37 | 1.42 |
| 3 | 66.11 | 55.28 | 10.82 | 145.23 | 142.98 | 2.25 |
| 4 | 67.45 | 54.59 | 12.87 | 144.68 | 140.44 | 4.24 |
| 5 | 66.12 | 53.56 | 12.56 | 142.21 | 135.75 | 6.46 |
| 6 | 60.45 | 50.09 | 10.35 | 132.39 | 133.25 | 0.86 |
| 7 | 55.56 | 46.77 | 8.79 | 120.43 | 136.44 | 16.00 |
| 8 | 51.55 | 47.24 | 4.31 | 116.43 | 137.88 | 21.46 |
| 9 | 32.95 | 44.89 | 11.94 | 116.66 | 137.09 | 20.43 |
| 10 | 35.37 | 45.16 | 9.79 | 111.43 | 133.55 | 22.12 |
| 11 | 58.20 | 46.95 | 11.25 | 121.88 | 137.94 | 16.06 |
| 12 | 60.33 | 43.79 | 16.54 | 120.42 | 136.22 | 15.81 |
| 13 | 64.32 | 52.29 | 12.03 | 132.16 | 141.02 | 8.87 |
| 14 | 60.91 | 52.24 | 8.66 | 144.31 | 139.65 | 4.66 |
| 15 | 64.09 | 53.91 | 10.18 | 148.86 | 139.96 | 8.90 |
| 16 | 67.83 | 54.36 | 13.46 | 148.20 | 139.25 | 8.94 |
| 17 | 69.10 | 56.50 | 12.59 | 151.95 | 139.33 | 12.62 |
| 18 | 74.67 | 56.96 | 17.71 | 138.34 | 137.02 | 1.32 |
| 19 | 64.92 | 54.49 | 10.43 | 147.05 | 139.26 | 7.79 |
| 20 | 61.39 | 52.46 | 8.93 | 144.89 | 140.10 | 4.78 |
| 21 | 60.29 | 51.99 | 8.29 | 143.63 | 138.99 | 4.65 |
| 22 | 57.87 | 51.34 | 6.53 | 140.20 | 138.14 | 2.05 |
| 23 | 59.37 | 50.53 | 8.84 | 144.54 | 137.92 | 6.62 |
| 24 | 62.26 | 50.48 | 11.79 | 147.33 | 138.75 | 8.58 |

表 3 灯浮标位置的预测值及偏离距离

Tab. 3 Predicted value of light buoy position and deviation distance

| 序号 Serial number | 实际经度 | 实际纬度 | 预测经度 | 预测纬度 | 偏离距离 |
|---------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| | Actual value of longitude/(°) | Actual value of latitude/(°) | Predicted value of longitude/(°) | Predicted value of latitude/(°) | Deviation distance /m |
| 1 | 121.883 098 | 31.267 702 | 121.88 2947 | 31.267 695 | 16.88 |
| 2 | 121.883 108 | 31.267 725 | 121.882 928 | 31.267 684 | 20.83 |
| 3 | 121.883 127 | 31.267 738 | 121.882 938 | 31.267 689 | 21.98 |
| 4 | 121.883 133 | 31.267 728 | 121.882 951 | 31.267 705 | 20.50 |
| 5 | 121.883 108 | 31.267 717 | 121.882 975 | 31.267 733 | 15.04 |
| 6 | 121.883 005 | 31.267 685 | 121.882 967 | 31.267 764 | 11.17 |
| 7 | 121.882 892 | 31.267 660 | 121.882 928 | 31.267 768 | 14.59 |
| 8 | 121.882 845 | 31.267 673 | 121.882 924 | 31.267 759 | 14.15 |
| 9 | 121.882 772 | 31.267 802 | 121.882 914 | 31.267 775 | 16.15 |
| 10 | 121.882 755 | 31.267 775 | 121.882 933 | 31.267 789 | 19.89 |
| 11 | 121.882 915 | 31.267 648 | 121.882 921 | 31.267 760 | 14.58 |
| 12 | 121.882 913 | 31.267 628 | 121.882 911 | 31.267 785 | 20.41 |
| 13 | 121.883 027 | 31.267 662 | 121.882 934 | 31.267 716 | 12.45 |
| 14 | 121.883 083 | 31.267 755 | 121.882 943 | 31.267 722 | 16.23 |
| 15 | 121.883 132 | 31.267 773 | 121.882 950 | 31.267 711 | 21.76 |
| 16 | 121.883 157 | 31.267 753 | 121.882 958 | 31.267 712 | 22.81 |
| 17 | 121.883 187 | 31.267 778 | 121.882 970 | 31.267 699 | 26.29 |
| 18 | 121.883 140 | 31.267 647 | 121.882 988 | 31.267 708 | 18.73 |
| 19 | 121.883 128 | 31.267 757 | 121.882 958 | 31.267 711 | 19.83 |
| 20 | 121.883 090 | 31.267 757 | 121.882 941 | 31.267 719 | 17.28 |
| 21 | 121.883 075 | 31.267 753 | 121.882 945 | 31.267 727 | 14.84 |
| 22 | 121.883 038 | 31.267 743 | 121.882 947 | 31.267 734 | 10.27 |
| 23 | 121.883 073 | 31.267 763 | 121.882 943 | 31.267 740 | 14.81 |
| 24 | 121.883 110 | 31.267 770 | 121.882 938 | 31.267 736 | 19.61 |

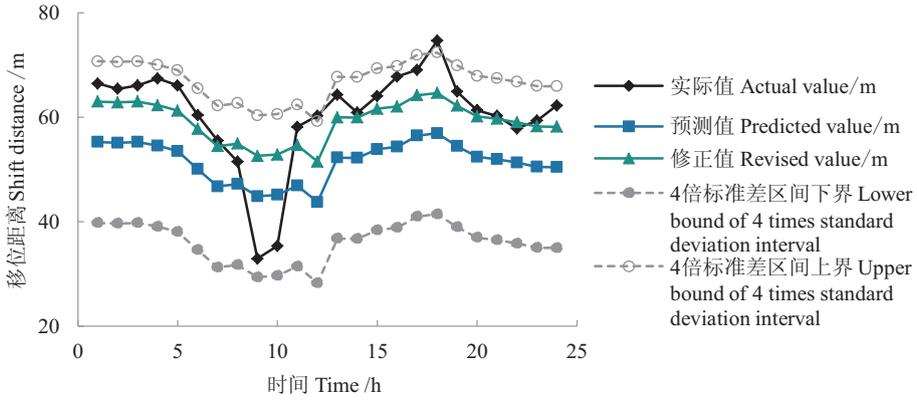


图3 移位距离实际值分布示意图

Fig. 3 Actual value distribution of shift distance

表4 灯浮标移位预警

Tab. 4 Forewarning of shift light buoy displacement

| 序号 Serial number | 移位距离实际值 Actual value of distance/m | 实际报警级别 Actual alarm level | 移位距离预测值 Predicted value of distance/m | 移位距离修正值 Revised value of distance/m | 依据移位距离修正值预测的报警级别 Alarm lpredicted by revised value of distance |
|---------------------|---------------------------------------|------------------------------|--|--|---|
| 1 | 66.48 | 一级 L1 | 55.28 | 63.02 | 一级 L1 |
| 2 | 65.46 | 一级 L1 | 55.14 | 62.88 | 一级 L1 |
| 3 | 66.11 | 一级 L1 | 55.28 | 63.02 | 一级 L1 |
| 4 | 67.45 | 一级 L1 | 54.59 | 62.33 | 一级 L1 |
| 5 | 66.12 | 一级 L1 | 53.56 | 61.30 | 一级 L1 |
| 6 | 60.45 | 一级 L1 | 50.09 | 57.83 | — |
| 7 | 55.56 | — | 46.77 | 54.51 | — |
| 8 | 51.55 | — | 47.24 | 54.98 | — |
| 9 | 32.95 | — | 44.89 | 52.63 | — |
| 10 | 35.37 | — | 45.16 | 52.90 | — |
| 11 | 58.20 | — | 46.95 | 54.69 | — |
| 12 | 60.33 | 一级 L1 | 43.79 | 51.53 | — |
| 13 | 64.32 | 一级 L1 | 52.29 | 60.03 | 一级 L1 |
| 14 | 60.91 | 一级 L1 | 52.24 | 59.98 | — |
| 15 | 64.09 | 一级 L1 | 53.91 | 61.65 | 一级 L1 |
| 16 | 67.83 | 一级 L1 | 54.36 | 62.10 | 一级 L1 |
| 17 | 69.10 | 一级 L1 | 56.50 | 64.24 | 一级 L1 |
| 18 | 74.67 | 一级 L1 | 56.96 | 64.70 | 一级 L1 |
| 19 | 64.92 | 一级 L1 | 54.49 | 62.23 | 一级 L1 |
| 20 | 61.39 | 一级 L1 | 52.46 | 60.20 | 一级 L1 |
| 21 | 60.29 | 一级 L1 | 51.99 | 59.73 | — |
| 22 | 57.87 | — | 51.34 | 59.08 | — |
| 23 | 59.37 | — | 50.53 | 58.27 | — |
| 24 | 62.26 | 一级 L1 | 50.48 | 58.22 | — |

2.5 模型评价

对长江口深水航道内的64座灯浮标连续192h的航标遥测遥控数据进行建模,计算预测位置与实际位置的偏离距离,64组共计1536个偏离距离数值未见显著差异,均值为17.84m,标准差为4.73m;移位预警准确率达到71.8%,满足航标管理者的需求。以上数据表明该模型稳定性和适用性较好。

3 结语

为实现长江口深水航道灯浮标位置预测和移位预警,缩短灯浮标复位的时间,提出了基于乘积季

节模型的灯浮标位置推算方法,对 64 座灯浮标进行建模,计算预测位置和偏离距离,并验证了利用 2 倍标准差修正移位距离预测值后进行移位报警的效果。结果表明:乘积季节模型可以较好预测灯浮标位置,利用修正值进行移位预警效果良好,能够满足航标管理者地需求。下一步将引用神经网络模型,从函数逼近角度,进一步研究提高模型拟合精度和数值预测精度的方法。

[参 考 文 献]

- [1] 林强. 数字航道监控系统在航标运动规律研究中的应用 [J]. 水运管理, 2010, 32(9): 8-12.
- [2] SCLAVOUNOS P D. Nonlinear impulse of ocean waves on floating bodies [J]. Journal of Fluid Mechanics, 2012, 697: 316-335.
- [3] BOUSCASSE B, COLAGROSSI A, MARRONE S, et al. Nonlinear water wave interaction with floating bodies in SPH [J]. Journal of Fluids and Structures, 2013, 42: 112-129.
- [4] LIU Z, TENG B, NING D Z, et al. Wave-current interactions with three-dimensional floating bodies [J]. Journal of Hydrodynamics: Ser B, 2010, 22(2): 229-240.
- [5] 李昇智, 乔建忠, 林树宽, 等. 基于 GPS 轨迹数据的混合多步 Markov 位置预测 [J]. 东北大学学报 (自然科学版). 2017, 38(12): 1686-1690.
- [6] 吕明琪, 陈岭, 陈根才. 基于自适应多阶 Markov 模型的位置预测 [J]. 计算机研究与发展, 2010, 47(10): 1764-1770.
- [7] QIAO S, SHEN D, WANG X. A self-adaptive parameter selection trajectory prediction approach via hidden markov models [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2015, 16(1): 284-296.
- [8] SONG L, MENG F, YUAN G. Moving object location prediction algorithm based on markov model and trajectory similarity [J]. Journal of Computer Applications, 2016, 36(1): 39-43, 65.
- [9] 乔少杰, 金琨, 韩楠, 等. 一种基于高斯混合模型的轨迹预测算法 [J]. 软件学报, 2015, 26(5): 1048-1063.
- [10] 肖延辉, 王欣, 冯文刚, 等. 基于长短记忆型卷积神经网络的犯罪地理位置预测方法 [J]. 数据分析与知识发现, 2018, 2(10): 15-20.
- [11] 王燕. 时间序列分析: 基于 R [M]. 北京: 人民出版社, 2010.
- [12] 吴喜之, 刘苗. 应用时间序列分析 R 语言陪同 [M]. 2 版. 机械工业出版社, 2017.
- [13] 孙华丽, 张政治. 全球定位系统卫星位置计算中插值方法精度分析 [J]. 导航定位学报, 2013, 1(3): 93-97.
- [14] 甘浪雄, 徐才云, 周春辉, 等. 基于卡尔曼滤波和 ISODATA 的航标漂移预警方法 [J]. 上海海事大学学报, 2017, 38(4): 26-31.
- [15] 林艺芳, 李汪彪, 苏伟达, 等. 一种航标定位的 GPS 异常点快速判别及剔除方法 [J]. 现代电子技术, 2008, 31(17): 4-6.
- [16] 彭天堂. 浮标位置监测及监测数据处理 [J]. 机电工程技术, 2011(7): 63-65.
- [17] 顾毛弟. 对上海航标处辖区灯浮标被撞、移位和漂失抢修事故的统计分析 [C] //中国航海学会航标专业委员会沿海航标学组、中国航海学会航标专业委员会内河航标学组、中国航海学会航标专业委员会沿海、内河航标学组联合会学术交流论文集. 北京: 中国航海学会, 2003: 256-262.
- [18] 金奕新. 关于灯浮标移位、漂失等情况分析与对策的探讨 [J]. 珠江水运, 2016(19): 54-55.

(责任编辑 陈 敏 英文审校 周云龙)